

DIFERENCIAS EN LA SECCION RECTA RADAR ENTRE GOTAS DE LLUVIA REALES Y ESFERICAS MEDIANTE SIMULACIONES

Guillermo D. Rodriguez^{#*}, Juan P. Ciafardini^{*}, R. Ezequiel Garcia^{#*}, J. Alberto Bava^{*}, Miguel Ferrando Bataller[§]

[#] *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – Universidad Nacional de La Plata /Argentina*
grodriguez@fcaglp.unlp.edu.ar

^{*} *Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de La Plata /Argentina*

[§] *Instituto de Telecomunicaciones y Aplicaciones Multimedia – Universidad Politécnica de Valencia /España*

INTRODUCCION

Este trabajo es parte de un estudio de radares meteorológicos polarimétricos. Nos enfocamos aquí en el estudio de la Sección Recta Radar (Radar Cross Section - RCS) de una gota de lluvia empleando simulaciones de campo electromagnético. En este primer abordaje, modelamos gotas de lluvia de diferentes tamaños y desarrollamos simulaciones usando el software FEKO (Altair Hyperworks) [1], empleando como método de solución, el Método de los Momentos (Method of Moments - MoM) para obtener como resultado la RCS de la gota, evaluada para polarizaciones horizontal y vertical.

Es una práctica común en el área de Radar Meteorológico expresar los resultados en términos del radio (o diámetro) de una gota esférica que contenga el mismo volumen de agua que la gota real. Este radio (o diámetro) es llamado radio equivalente [2-3]. Particularmente, el parámetro usado para expresar los resultados de un radar meteorológico, la Reflectividad (Z), es definida en términos de los diámetros equivalentes de las gotas iluminadas por el haz en un instante determinado. [4].

$$Z = (\sum D_{eq_i}^6) / \text{Volumen} \quad [\text{mm}^6/\text{m}^3] \quad (1)$$

Usualmente, debido al gran rango dinámico de este parámetro, se emplea una versión logarítmica del mismo:

$$Z [\text{dBZ}] = 10 \log_{10} Z \quad (2)$$

Por otro lado, es conocido que las gotas de lluvia no son esféricas o con forma de lágrima. Estas tienen una forma que es prácticamente esférica cuando son pequeñas (diámetro < 0.8 mm), adquiriendo formas oblongas aplastadas en la dimensión vertical cuando crecen en volumen. Este efecto es el resultado de varios fenómenos, pero principalmente de la resistencia ejercida por el aire al desplazamiento de la gota, la tensión superficial y la circulación interna.

En nuestras simulaciones empleamos el modelo de forma de gota propuesto por Pruppacher y Pitter [2] y consideramos como material de la misma, un medio dieléctrico con pérdidas. Pruppacher et-al proponen la siguiente ecuación para describir el perfil de la gota real en función del radio equivalente a_0 (3) y varios coeficientes c_i .

$$r = a_0 \left(1 + \sum_{n=0}^9 c_n \cos n\theta \right) \quad (3)$$

Respecto del material de la gota y su interacción con las ondas electromagnéticas, la molécula de agua presenta polaridad y las mismas se alinean con el campo cuando este las alcanza. Para expresar las pérdidas producidas por este fenómeno, y como es sugerido en [5], empleamos el modelo de relajación de Debye, en su versión ampliada de Cole-Cole. Este modelo tiene cuatro parámetros, los cuales son dependientes de la temperatura como se

explica en la referencia. El software FEKO permite emplear este modelo en un material definido ad-hoc y fue elegida para la simulación una temperatura del agua de la gota de 5° Celsius.

DESARROLLO

La ecuación del modelo de gota de Pruppacher-Pitter fue introducido en FEKO, para obtener la forma real. Se definió un nuevo material con las propiedades mencionadas (modelo de Cole-Cole, permitividad relativa=82, etc) y fue aplicado a la gota.

Luego se desarrollaron gotas reales con radios equivalentes de 1,1; 2 y 3 mm y gotas esféricas con el mismo radio equivalente y material y se efectuaron las simulaciones para obtener la RCS.

Estas simulaciones se realizaron en las frecuencias que emplean los radares meteorológicos en las tres bandas S, C y X [6].

Particularmente:

- Para banda S: 2.7 a 2.9 GHz
- Para banda C: 5.3 a 5.9 GHz y
- Para banda X: 9.3 a 9.5 GHz

Finalmente, comparamos los resultados obtenidos para las gotas reales (modelo de Pruppacher-Pitter) con los de las gotas esféricas en términos de Reflectividad en su versión logarítmica y de Sección Recta Radar para ambas polarizaciones.

Modelo de forma de la gota

Modelos de gotas reales con radios equivalentes de 1,1 y 3 mm se muestran en la Fig.1. La primera es prácticamente esférica en tanto que la segunda tiene una forma claramente aplastada. No hemos analizado aquí casos de gotas de menor radio debido a que las diferencias en la RCS son despreciables.

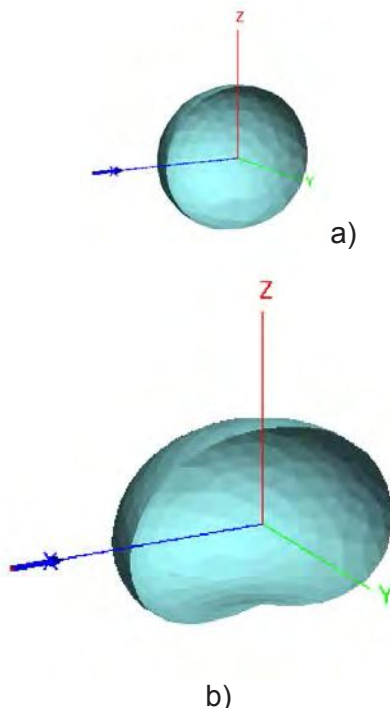


Fig. 1. Modelos de gotas de lluvia de Pruppacher-Pitter. a) 1.1 mm y b) 3 mm

Sección Recta Radar (RCS) y Reflectividad (Z)

La relación entre la RCS y la Reflectividad Z está dada por:

$$Z = \frac{\lambda^4 RCS}{\pi^5 |K_w|^2} \quad (4)$$

donde:

λ es la longitud de onda de la señal del radar en el espacio libre,

$$K_w = \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2} \quad (5)$$

y ε_r es la permitividad relativa del agua de lluvia [5].

RESULTADOS

En esta parte, se analizan en primer término las diferencias en RCS obtenidas entre las dos formas analizadas para cada radio equivalente y banda de frecuencia. Luego se obtiene como se propagan esas diferencias a los resultados de Reflectividad.

La Fig. 2 muestra, a modo de ejemplo, el comparación de las RCSs de la gota esférica y la real con radio equivalente $a_0 = 1.1$ mm, en escala lineal, en banda X y para polarizaciones horizontal y vertical.

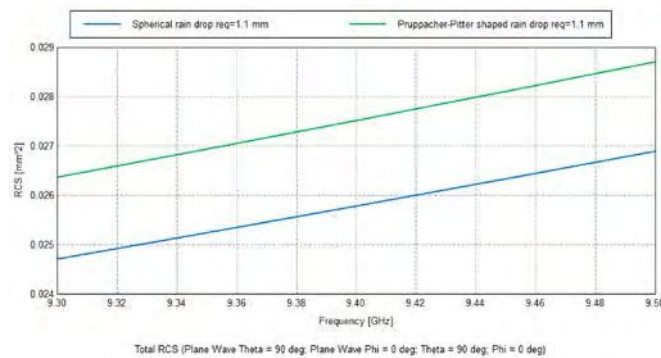


Fig. 2. RCS de gotas esféricas y reales (Pruppacher et al) de req=1,1 mm en banda X, polarización horizontal.

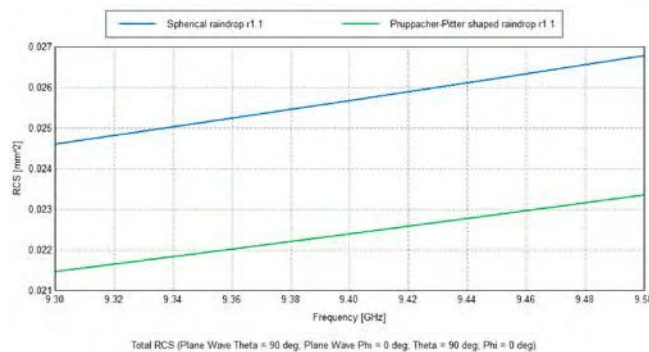


Fig. 3. RCS de gotas esféricas y reales (Pruppacher et al) de req=1,1 mm en banda X, polarización vertical.

Aquí se pretende destacar la diferencia en la RCS para las diferentes polarizaciones. El hecho de que la gota real sea oblonga produce que su RCS horizontal sea mayor que la de la gota real, ocurriendo lo contrario con la polarización vertical.

La Fig. 4 muestra las diferencias en RCS (Δ RCS) que se obtuvieron para las tres bandas de frecuencia (S, C and X) y los tres radios equivalentes, en escala logarítmica.

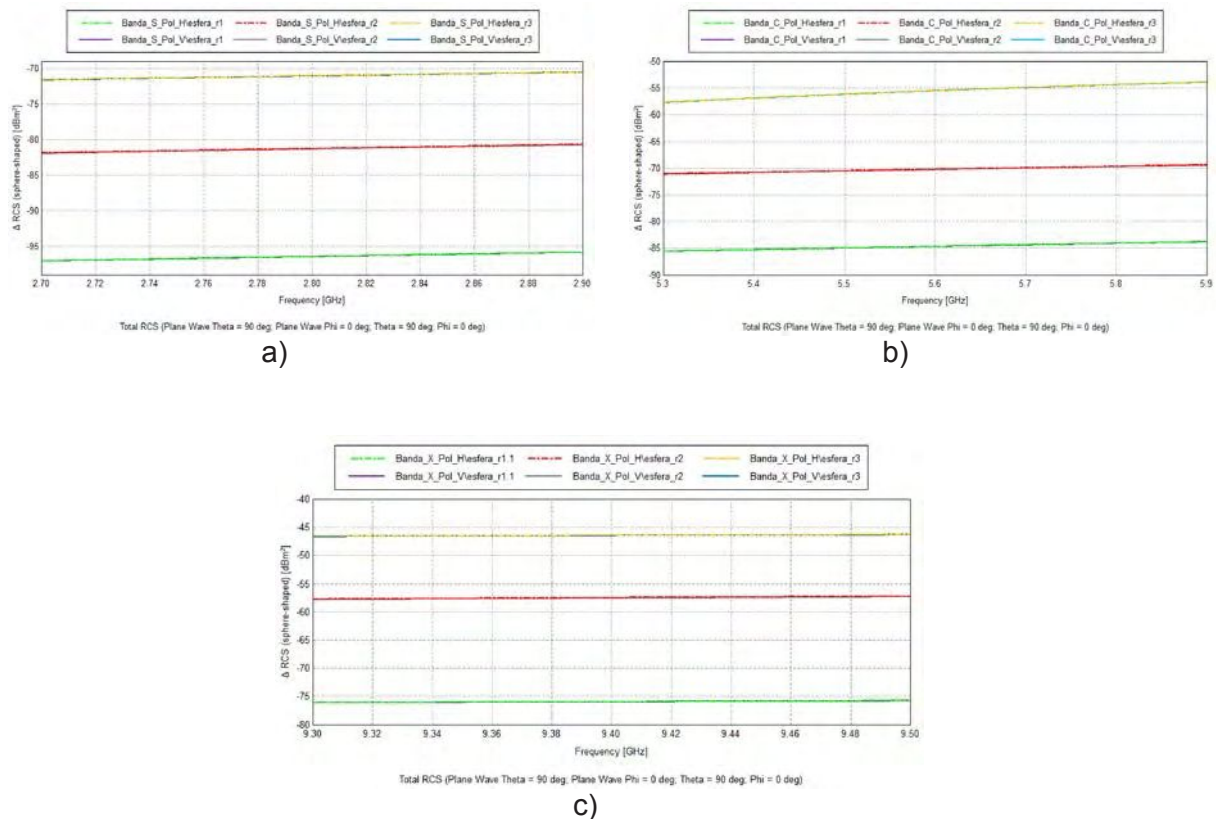


Fig. 4. Δ RCS en dBm² para todos los radios equivalentes y polarizaciones para todos los radios y polarizaciones: a) en banda S, b) en banda C and c) en banda X.

Los gráficos previos muestran que las mayores diferencias se presentan para las gotas más grandes, en las que el efecto de aplastamiento es mayor, siendo la Δ RCS del mismo orden para ambas polarizaciones. En estos gráficos logarítmicos, ambas polarizaciones para cada banda aparecen superpuestas por el efecto de la escala.

Análisis de Reflectividad

Empleando la ecuación (4), los resultados previos fueron convertidos a reflectividad para obtener el error diferencial en el que se podría incurrir en un radar de polarización única por el hecho de asumir que las gotas esféricas presentan la misma reflectividad que una gota real para los radios equivalente analizados. Esto es:

$$\Delta \text{dBZ} = \text{dBZ}_{\text{gota esférica}} - \text{dBZ}_{\text{gota real}} \quad (6)$$

A continuación, en las figuras 5 a 7 se presenta la reflectividad obtenida de los dos modelos estudiados para todos los casos analizados.

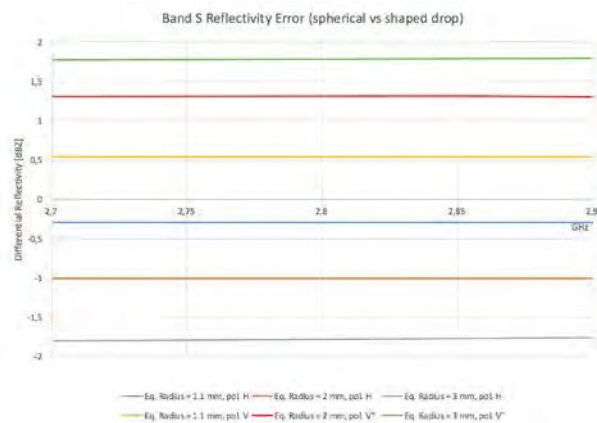


Fig. 5. Error en Reflectividad en banda S.

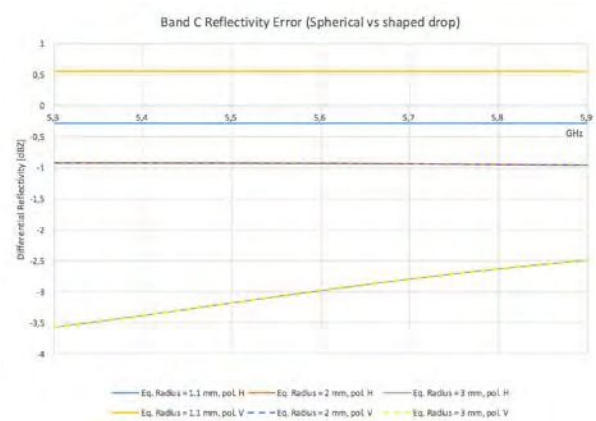


Fig. 6. Error en Reflectividad en banda C.

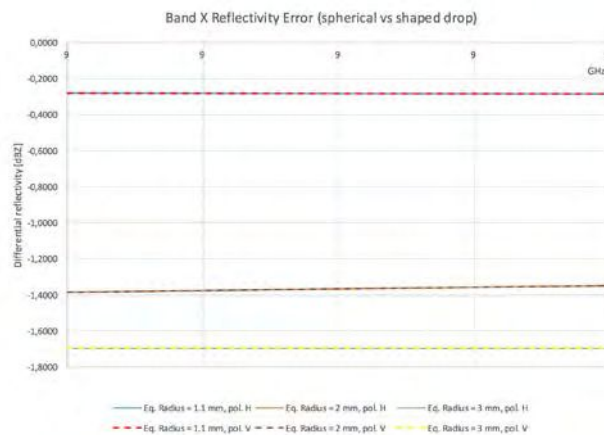


Fig. 7. Error en Reflectividad en banda S.

CONCLUSIONES

Se realizaron simulaciones electromagnéticas para obtener la Sección Recta Radar que presentan las gotas de lluvia de diferentes tamaños y los de modelos esféricos de radio equivalente a las anteriores, en varias bandas de frecuencia de interés y para dos polarizaciones. Fueron contemplados los efectos de pérdidas y dispersión producidos en el material de la gota empleando el modelo de Cole-Cole.

En base a las RCSs simuladas se obtuvo la Reflectividad Z , parámetro con el que se presentan habitualmente los resultados de un radar meteorológico. En base a la comparación de resultados entre las dos formas de gotas (real vs esférica), se encontró una diferencia máxima de 1.8 dB en banda S, 3,5 dB en banda C y 1.7 dB en banda X.

Esta diferencia conduce a un error en la interpretación de los datos de un radar meteorológico de polarización única, particularmente en los productos tasa de lluvia y lluvia caída.

Nuestros próximos pasos están orientados a estudiar escenarios más complejos con varias gotas por metro cuadrado, como en una lluvia real y analizar como son afectados por este motivo los resultados de un radar polarimétrico.

REFERENCIAS

- [1] <https://altairhyperworks.com/product/FEKO>
- [2] H. R. Pruppacher y R. L. Pitter, «A Semi-Empirical Determination of the Shape of Cloud and Rain Drops», *J. Atmos. Sci.*, vol. 28, n.º 1, pp. 86-94, ene. 1971.

- [3] T. A. Seliga y V. N. Bringi, "Potential Use of Radar Differential Reflectivity Measurements at Orthogonal Polarizations for Measuring Precipitation", *J. Appl. Meteor.*, vol. 15, n.º 1, pp. 69-76, ene. 1976.
- [4] W. Melvin, J. Scheer. "Principles of Modern Radar Vol. III: Radar Applications". Editorial SciTech, Edison, Nueva Jersey, 2010.
- [5] G. Zhang, "Weather Radar Polarimetry". CRC Press, 20160819. ISBN: 978-1-4398-6958-1. 2017
- [6] "UIT - Use of Radio Spectrum for Meteorology": Weather, Water and Climate Monitoring and Prediction".